

张一平,王新敏,牛淑贞,等. 河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析[J]. 气象,2010,36(2):54-61.

河南省强雷暴地闪活动与雷达回波的关系探析^{* 1}

张一平¹ 王新敏¹ 牛淑贞¹ 范学峰² 吕晓娜¹ 周红俊³

1 河南省气象台,郑州 450003
2 河南省气象局,郑州 450003
3 河南省大气探测技术保障中心,郑州 450003

提 要: 利用 ADTD 雷电定位显示监测系统资料和郑州 714CD 多普勒雷达回波资料,对河南省 2004—2006 年 8 次雷雨大风伴局地冰雹和强暴雨两类强雷暴天气的地闪和雷达回波的特征及关系进行了分析,从观测事实出发,分析了河南 8 次强雷暴地闪活动与雷达回波的关系。结果表明:大风冰雹类回波强度为 50~60 dBz,暴雨回波强度一般为 40~55 dBz。暴雨地闪频数明显多于大风冰雹类;大风冰雹类天气以正闪为主,正闪比例在 50%以上,暴雨正闪比例在 6%以下;最大正、负闪强度可以出现在强雷暴过程的开始、持续、结束时段。块状单体回波出现或出现前,地闪已经出现,移动过程中的强回波带,少量地闪出现在强回波移动方向的前方 20~30 km 内,此地闪能很好地预示强回波未来移动方向;对于暴雨类天气,地闪不能很好预示降水的开始,地闪频数的增加预示强暴雨进入持续阶段,地闪减弱比暴雨回波减弱有明显的提前量。雷雨大风冰雹和暴雨持续阶段其正闪密集区和负闪密集区都同 40 dBz 的强回波区有很好的对应关系。雷雨大风持续阶段地闪数频数突增,整个时段地闪频次具有单峰特征;暴雨整个时段地闪频次具有双峰或多峰值特点以及高频数地闪持续性特点;1 小时地闪频数强暴雨远大于雷雨大风冰雹类。暴雨类 0℃、-10℃、-20℃层高度及云顶高度一般高于大风冰雹类,ΔH_{-10~0℃}, ΔH_{-20~0℃}, ΔH_{cl~0℃} 三层高度差也大于大风冰雹类。

关键词: 强雷暴, 地闪, 雷达回波

Analysis of Relationship Between Cloud-to-Ground Lightning Activities of Severe Thunderstorm and Radar Echo in Henan

ZHANG Yiping¹ WANG Xinmin¹ NIU Shuzhen¹
FAN Xuefeng² LV Xiaona¹ ZHOU Hongjun³

1 Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003;
2 Henan Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003
3 Henan Provincial Atmospheric Probing Technical Support Center, Zhengzhou 450003

Abstract: Based on datasets of ADTD lightning's location and graphic system and 714CD Doppler radar echo, characteristics and relationship of cloud-to-ground lightning and radar echo between the thunderstorm with hail and the strong rainstorm, which happened eight times from 2004 to 2006, are analyzed. The results show that, the radar echo intensity of thunderstorm with hail is between 50 to 60 dBz, while that of rainstorm is between 40 to 55 dBz. The lightning frequency of rainstorm is obviously more than that of thunderstorm with hail. The latter is major to positive lightning, whose ratio is more than 50%, while the former is less than 6%, and the strong lightning may occur during the whole thunderstorm process. Lightning occurs before or at the appearance of blocky single echo. A spot of lightnings can be found at 20—30 km in front of strong echo's moving direction, which can foretell the direction of strong echo's moving well. For the rainstorm, lightning can't forecast the beginning of rainfall well. The increase

^{*} 河南省科技攻关项目“河南省雷电潜势预报系统及预警技术研究”(Z200703)资助
2009 年 2 月 1 日收稿; 2009 年 8 月 27 日收修定稿
第一作者:张一平,从事强对流监测和短时临近预报预警研究. Email:zhangyiping618@yahoo. com. cn

of lightning frequency means the lasting period of rainstorm, and weaker lightning appears earlier than its echo. When thunderstorm with hail and the lasting period of rainstorm occur, the areas of positive and negative lightning are corresponding to the strong echo of 40 dBz well. When thunderstorm is lasting, lightning frequency increases suddenly. Its change displays a single peak, while two or more peaks and high frequency appear during rainstorm. The one-hour lightning frequency of rainstorm is much more than that of the former. The heights of 0 °C, -10 °C and -20 °C and the height of cloud are higher than those of thunderstorm with hail, and the height differences between $\Delta H_{-10\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$, $\Delta H_{-20\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$ and $\Delta H_{\text{ct}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$ are also larger than those of thunderstorm with hail.

Key words: severe thunderstorm, cloud-to-ground lightning, radar echo

引言

雷电被联合国有关部门列为“最严重的十种自然灾害之一”^[1],被中国国家电工委员会称为“电子时代的一大公害”^[2]。河南汛期雷雨大风、冰雹、暴雨等强对流天气剧烈且频繁出现,雷暴天气造成的雷电灾害每年都有发生。多普勒雷达是强对流天气监测预警不可缺少的工具,闪电定位仪能连续实时记录探测范围内地闪的位置、强度,二者在强对流天气预警预报中发挥着重要作用。随着地闪监测系统的建立和地闪数据的积累,国内外很多气象工作者对地闪活动进行了研究。陈哲彰^[3]研究了我国华北地区中尺度对流系统,指出暴雨过程地闪频数很高、正地闪百分比很低,而冰雹大风天气的地闪频数很低、正地闪百分比很高。Tao等^[4]研究指出,冰雹大风天气的地闪频数很低,而云闪频数很高,多于地闪。李南等^[5]对安徽地闪与雷达资料的相关分析发现地闪发生的数目和变化与回波顶高有较好的对应关系,而与垂直液态含水量对应关系不明显,强对流天气的云地闪中正地闪与负地闪发生频次相当,强降水天气负地闪占优势,地闪发生的位置比较集中并且与强回波位置一致。李建华等^[6]对北京地区典型暴雨和冰雹天气进行了详细的雷达、地闪特征分析,认为:云地总闪与强雷暴天气的强弱没有明显关系。负闪比例越高,降水越强。正闪数与冰雹、大风等激烈性天气有明显的关系。大多数地闪与45 dBz以上的回波区相对应,地闪特性与降水类型有密切关系。Soula等^[7]对欧洲南部雹暴的观测发现,与仅产生降水的雷暴相比,所有产生降雹的雷暴其正地闪比例格外高,而总地闪频数则异常低,产生冰雹的雷暴的地闪频数不超过2次/min,而产生大雨的雷暴的地闪频数则可以超过12次/min。易笑

园等^[8]以华北地区三类飑线系统为研究对象,探讨6分钟内地闪频数与雷达回波顶高的关系,找寻雷电预警指标,认为6分钟内地闪频数与对流云回波顶高高于11 km或12 km的回波面积有正相关关系,在飑线系统内的地闪活跃区,回波顶高高于11 km的回波面积对地闪活动激烈程度具有预警意义。近几年来,随着对闪电监测手段的日益健全,中国气象科学研究院雷电物理和防护工程实验室开展了雷电临近预警方法的研究^[9-12]。本文对以雷雨大风伴局地冰雹为主和以短时强暴雨为主的两类强雷暴天气过程进行雷电参数和雷达回波特征对应分析,寻找两类雷暴天气的地闪参数特征,探讨雷电参数和多普勒雷达回波特征的关系。

1 资料来源及过程选择

2006年河南气象部门引进了中国科学院空间科学与应用研究中心开发的ADTD雷电定位显示监测系统。该系统能够实时计算显示雷电发生的时间、位置、雷电流幅值和极性雷电参数,并以雷击点的分时彩色图显示雷电的运动轨迹,能够在较大范围内实时监测雷电的发生、发展,能够对地闪数据查询、动画、分析、统计。该系统接收的文本数据包括序号、地闪发生的时间(日期、时、分、秒)、位置(经纬度)、地闪强度、发生位置等信息,正闪代表地闪强度大于零的地闪数据,用红色符号“+”表示,负闪代表地闪强度小于零的地闪数据,用蓝色符号“-”表示。本文地闪资料为2004—2006年以县、市为最小空间分辨率的ADTD雷电文本数据。

雷达资料为郑州714CD多普勒雷达资料,该雷达能够提供强度、径向速度、谱宽等信息。

天气过程是从2004—2006年挑选的灾害严重的8例强雷暴天气过程,雷雨大风伴局地冰雹(简称

大风冰雹类)和 24 小时雨量 ≥ 100 mm 的强暴雨(简称暴雨类)过程各 4 例,且全部个例雷暴期间都有不同程度雷击事件发生。

2 河南强雷电地闪活动和雷达回波特征分析

2.1 强雷电雷达回波特征

根据天气实况资料,分析了 8 次强雷暴过程(大风冰雹和暴雨类各 4 例)期间雷达回波特征、最大强度和最大高度(表 1)。从 PPI 回波强度看,大风冰雹类回波呈块状或强带状,梯度大,强度高,一般达 50~

60 dBz,强回波持续时间短,有时会出现钩状或 V 型缺口;而强暴雨类回波多为以对流为主的积层混合性降水回波,强度比大风冰雹类回波弱,一般为 40~55 dBz,持续时间比大风冰雹回波长。从 RHI 看,8 次过程对流旺盛,回波顶高度均在 12 km 以上,最高达 17 km,大风冰雹类回波高度并不比暴雨类回波高度高(这可能与所选过程的月份有关),但从 RHI 结构上看,大风冰雹回波梯度大,结构紧密,多呈粗大的柱状或呈纺锤状,有时出现穹窿和悬挂回波或有假回波;强暴雨类回波对流旺盛,高度 15 km 以上,但没有以上大风冰雹回波特征,结构比大风冰雹回波弥散,40 dBz 以上的强回波一般在 8 km 以下。

表 1 8 次强雷暴过程概况和雷达回波特征
Table 1 General process and radar echo of eight severe thunderstorms

类别	过程时间		影响区域和实况	强雷暴回波特征	
	日期/年/月/日	北京时间		强度/dBz	高度/km
大风冰雹	2004/6/21	17—22	焦作、新乡、郑州地区雷雨大风,局地冰雹	50~55	12~13
	2004/6/24	16—19	焦作、郑州雷雨大风,局地冰雹	50~60	15
	2005/6/21	05—09	郑州地区局部冰雹	45~60	12~14
	2006/6/25	19—23	三门峡、洛阳、济源、郑州等地区雷雨大风、局地冰雹	50~60	14~16
暴雨	2004/7/27	27 日 17—28 日 05	新乡东部暴雨,长垣 138 mm、封丘 118 mm	45~55	16~17
	2005/6/30	30 日 17—1 日 05	南召雨量 360 mm	40~50	16
	2006/6/28	28 日 22—29 日 02	许昌暴雨,禹州 174 mm、许昌 104 mm	40~55	15
	2006/7/2	1 日 20—2 日 20	郑州地区南部和许昌、周口两地区北部雨量 >100 mm,长葛 337 mm、新郑 178 mm	40~55	16

2.2 强雷电地闪参数特征

利用地闪数据的查询、动画、统计等功能,得到强雷暴时段地闪影响区域内(精确到县、市)的地闪参数特征(表 2)。由表 2 可以看出,暴雨类地闪总

频数明显多于大风冰雹类,如 2005 年 6 月 30 日夜至 7 月 1 日凌晨南召县地闪总频数达 12162 次,1 小时最大出现在 1 日 2—3 时为 2681 次,10 分钟最大为 580 次。大风冰雹天气以正闪为主,正闪比例在 50% 以上,其中 2004 年 6 月 21 日正闪比例高达

表 2 8 次强雷暴过程雷电参数特征
Table 2 Characteristics of lightning indexes during eight severe thunderstorms

类别	过程时间		强雷暴时段地闪频数特征				强雷暴时段地闪强度特征		
	年/月/日	北京时间	地闪总数	正闪	负闪	正闪/总闪/%	平均正、负闪强度/kA	最大地闪强度(kA)及出现地点和时间	
雷雨大风冰雹	2004/6/21	17—22	669	605	64	90.4	79.7	—29.6	+236.0 获嘉 20:33 —57.2 博爱 20:39 +189.6 武陟 16:28 —37.8 郑州 17:29 +97.7 新郑 07:45 —18.5 中牟 08:00 +153.7 新密 22:02 —67.3 伊川 22:29
	2004/6/24	16—19	256	148	108	57.8	83.1	—15.4	+196.8 长垣 04:09 —83.6 封丘 01:21 +71.4 南召 17:38
	2005/6/21	05—09	75	38	37	50.7	43.7	—12.5	—79.1 南召 22:05 +51.5 禹州 1:03 —121.2 禹州 22:35 +162.9 郸城 7:12 —218.7 周口 11:20
	2006/6/25	19—23	567	401	166	70.1	38.6	—30.1	
暴雨	2004/7/27	27 日 17—28 日 05	1326	9	1317	0.7	27.6	—29.6	
	2005/6/30	30 日 17—1 日 05	12162	394	11768	3.2	18.4	—9.26	
	2006/6/28	28 日 22—29 日 02	2473	38	2435	1.5	42.2	—42.7	
	2006/7/2	1 日 20—2 日 20	2213	128	2085	5.8	59.6	—48.1	

90.4%,而2005年6月21日正闪比例最小为50.7%,其原因可能是其他3次过程出现在下午到前半夜,2005年6月21日强对流天气出现在凌晨到上午,对流较其他3次弱的缘故。从正负闪比例看,4次暴雨过程负闪有明显优势,正闪比例在6%以下。以上特征和有关文献结论比较一致。分析强雷暴时段地闪强度特征,大风冰雹天气平均正闪强度大于负闪强度,而暴雨类地闪频数虽然很大,但负闪平均强度不大,而且弱于雷雨大风冰雹平均正闪强度。大风冰雹类天气过程中,2004年6月21日20:33,获嘉出现最大正地闪强度达+236.0 kA;暴雨类过程中,2006年7月2日11:20周口市出现最大负地闪强度为-218.7 kA。最大正、负闪出现时间可以出现在强雷暴过程的开始、持续、结束任何时段。以上只是这几次强雷暴天气过程的观测事实,地闪强度的大小与雷暴类型的关系还不确定。图1为2004年6月21日17:00—22:00豫北雷雨大风冰雹过程地闪分布,可以直观看出大部分为正闪,图2为2005年6月30日17:00—23:59南召特大暴雨地闪分布,其负闪特征非常明显。

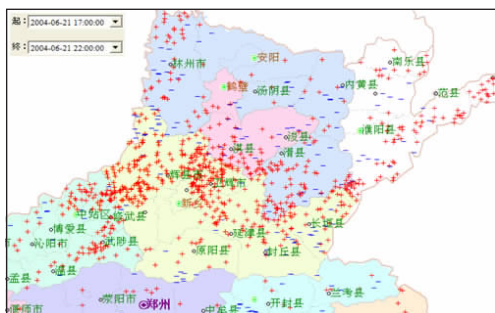


图1 2004年6月21日17:00—22:00
豫北雷雨大风冰雹地闪

Fig.1 Cloud-to-ground lightning of
thunderstorm with hail over northern Henan
from 17:00 to 22:00 on 21 June 2004

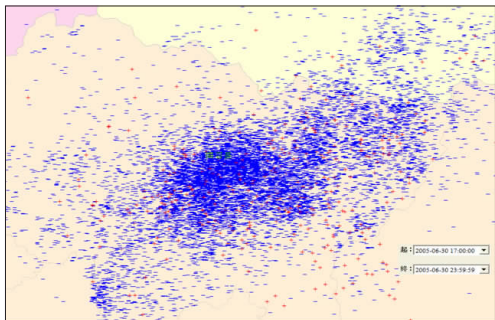


图2 2005年6月30日17:00—23:59
南召特大暴雨地闪

Fig.2 Cloud-to-ground lightning of rainstorm
over Nanzhao from 17:00 to 23:59 on 30 June 2005

3 地闪活动和雷达回波的关系

利用闪电定位系统的动态显示功能,以10分钟为时间间隔,查看了8次雷暴过程影响区域内的地闪频数、极性等特点,并与雷达回波对应,从以下三方面分析了地闪活动和雷达回波的关系。

3.1 强回波区和地闪频数的关系

对大风冰雹回波及暴雨回波强度场平显资料和前半小时地闪进行了对比分析,发现大风冰雹和暴雨持续阶段的正、负闪密集区一般同40 dBz的强回波区有较好的相关性,这说明地闪发生在对流旺盛的地方。如2004年6月21日20回波及其前半小时内地闪资料对应分析,从20:50 1.0°PPI(Z)一条近东西向的带状回波位于郑州北侧约50 km处,其上40 dBz的强回波位于济源、焦作、新乡到安阳南部一带(图3),从20:20—20:50地闪查询结果看,以正闪为主的地闪密集区也位于此处(图4),和40 dBz的强回波位置非常吻合,由此可见雷电集中发生在强对流天气出现的位置。

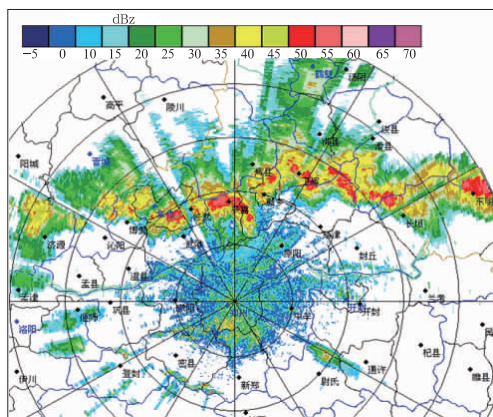


图3 2004年6月21日20:50 1.0°PPI(Z)
(色标:下同)

Fig.3 1.0°PPI(Z) at 20:50 on 21 June 2004
(color code: the same thereafter)

3.2 强回波生成、持续、消亡阶段地闪活动特征

地闪资料有很高的时空分辨率^[13],能全天候实时显示并连续记录探测范围内地闪的位置、强度、极性等参数信息,是雷电天气监测非常有用的工具。对8次大风冰雹、暴雨两类强雷暴天气生成、发展、消亡三个阶段的雷达和地闪资料分析发现这两类强雷暴天气生成、持续、消亡三个阶段雷达回波和地闪

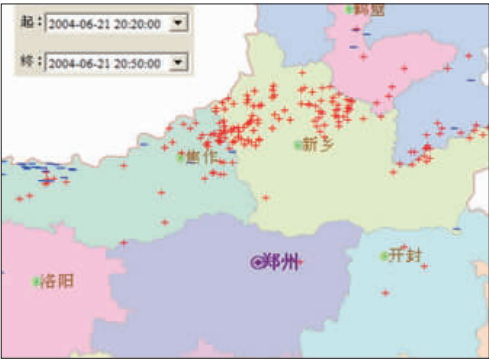


图 4 2004 年 6 月 21 日 20:20—20:50 地闪分布
Fig. 4 Cloud-to-ground lightning from 20:20 to 20:50 on 21 June 2004

活动的关系有明显不同。

3. 2. 1 大风冰雹类

分析 4 次大风冰雹类天气,对于块状单体回波,在冰雹云生成阶段,即块状强回波出现后,有时甚至在强回波出现前,地闪就已经出现。随着雷暴进入持续阶段,回波强度增强(55~60 dBz),尺度增大,地闪频数突增,出现地闪密集区,且地闪密集处一般和 40 dBz 以上的强回波区有很好的对应;对于移动过程中的块带状强回波,此阶段强回波和地闪密集区均有明显的移动,强回波移动方向的前方 20~30 km 内,有少量地闪出现,此地闪能很好地预示强回波未来移动方向。冰雹云消亡阶段,回波强度减弱,高度降低,同时地闪频数锐减。大风冰雹类强雷暴地闪活动一般持续 2~5 小时。

如 2004 年 6 月 21 日 19:46 0.5°PPI(图 5)上看,焦作南部的武陟县附近几乎看不到回波生成,而 19:30—19:46 地闪定位显示焦作南部武陟附近有 7

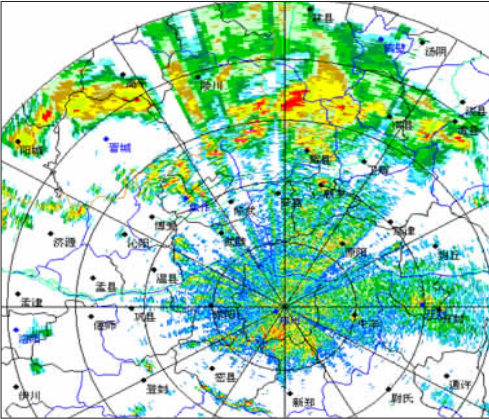


图 5 2004 年 6 月 21 日 19:46 0.5°PPI(Z)
Fig. 5 0.5°PPI(Z) at 19:46 on 21 June 2004

个正闪出现(图 6),20:12 1.0°PPI 上武陟出现了一明显的块状回波(图 7)。可见对流是在中空发展,雷电比雷达回波提前监测到对流天气的发生。又如 2006 年 6 月 25 日 20:30 1.0°PPI 上洛阳、济源到焦作一带有一条近东北—西南向的块带状回波(图 8),和上述回波对应,从 20:00—20:30 的地闪显示(图 9)结果看,以上强回波处有正闪密集带,密



图 6 2004 年 6 月 21 日 19:30—19:46 地闪
Fig. 6 Cloud-to-ground lightning from 19:30 to 19:46 on 21 June 2004

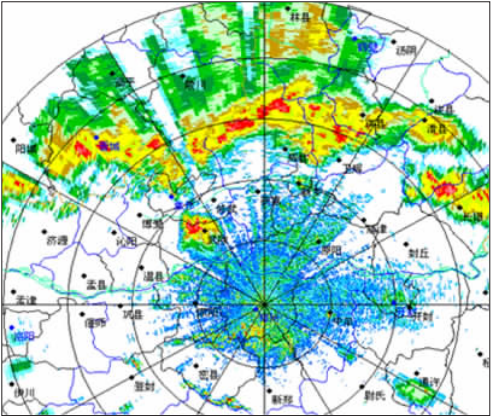


图 7 2004 年 6 月 21 日 20:12 1.0°PPI(Z)
Fig. 7 1.0°PPI(Z) at 20:12 on 21 June 2004

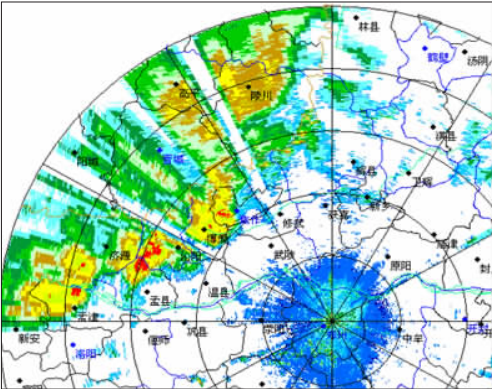


图 8 2006 年 6 月 25 日 20:30 1.0°PPI(Z)
Fig. 8 1.0°PPI(Z) at 20:30 on 25 June 2006

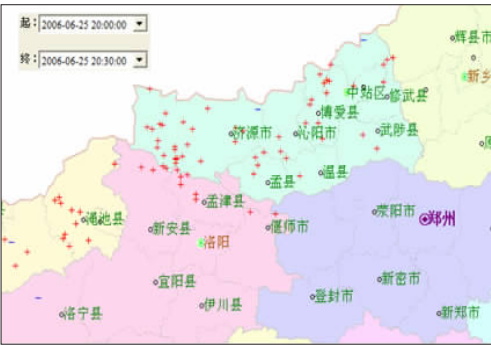


图 9 2006 年 6 月 25 日 20:00—20:30 地闪
Fig. 9 Cloud-to-ground lightning from
20:00 to 20:30 on 25 June 2006

集带前沿的正地闪已出现在强回波带前方的孟津、孟县、温县、武陟、偃师,超前强回波带 20~30 km,明显地预示了强回波带的移动方向。

3.2.2 暴雨类

苗爱梅等^[14]对一次特大暴雨的地闪特征与降水作了相关分析,认为地闪峰值可提前 35~40 分钟预测雨强峰值。通过对暴雨过程雷达回波、地闪参数和 1 小时雨量对应分析,对于 1 小时降雨强度大的降水来说,雷电超前于降水。但也发现有时地闪不能很好预示降水的开始。一般降水先从低层出现,随着对流发展,才有地闪出现。地闪频数的增加预示强暴雨进入持续阶段,强暴雨持续阶段的回波强度比大风冰雹类回波强度弱,一般 40~50 dBz,随着降水范围逐渐增大,地闪频数突增,出现地闪密集区,且地闪密集区一般和 40 dBz 以上的强回波区有很好的对应,此阶段强回波和地闪密集区没有明显移动。暴雨减弱阶段,地闪频数明显减少,且地闪频数明显减少比雷达回波减弱提前 2~3 小时或更长时间,即地闪减弱比暴雨回波减弱有明显的提前量。

2006 年 7 月 2 日 00:06 1.0°PPI(Z)许昌、周口已经出现大面积 40~50dBz 强暴雨回波(图 10),

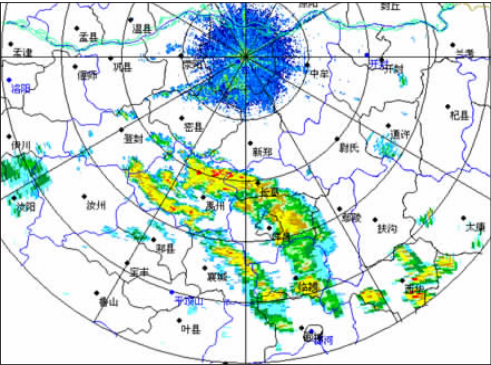


图 10 2006 年 7 月 2 日 00:06 1.0°PPI(Z)
Fig. 10 1.0°PPI(Z) at 00:06 on 2 July 2006

而在此之前许昌、周口几乎没有地闪(图 11),说明对于暴雨,地闪不能很好地预示降水开始。随着地闪频数增加,降水强度加大。

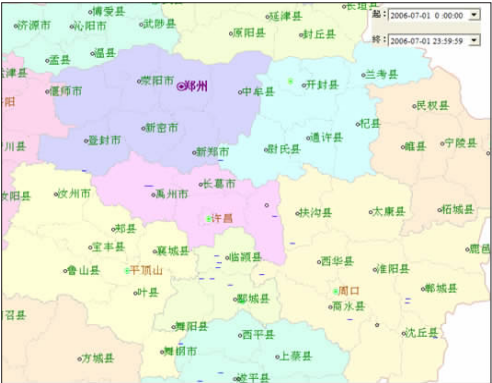


图 11 2006 年 7 月 1 日 00:00—23:59 地闪
Fig. 11 Cloud-to-ground lightning from
00:00 to 23:59 on 1 July 2006

3.3 两类强雷暴天气出现时段地闪频数特征

分析大风冰雹类和暴雨类出现时段每 10 分钟地闪特征,发现强对流过程生命史短,地闪持续时间短,地闪总频数少,1 小时地闪频数也少,整个时段地闪频数具有单峰特点;而暴雨类则相反,过程生命史长,地闪持续时间长,地闪总频数多,1 小时地闪频数也多,整个时段地闪频数具有双峰或多峰值特点以及高频数地闪持续性特点。这是因为雷雨大风过程一般持续时间短,而暴雨持续时间长,可能有多个单体生消,所以地闪总次数比较多。如图 12 为 2006 年 6 月 21 日新乡雷雨大风局地冰雹对流天气时段地闪频数随时间的变化,图 13 为 2005 年 7 月 30 日 16 时至 7 月 1 日 05 时南召暴雨地闪频数随时间的变化。

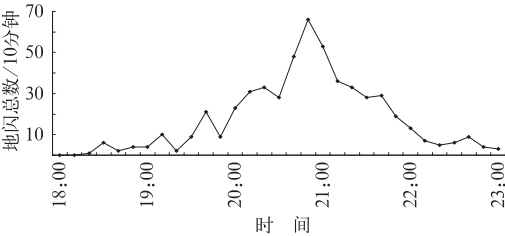


图 12 2006 年 6 月 21 日新乡强对流
地闪频数随时间的变化
Fig. 12 Change in the lightning frequency of strong
convection over Xinxiang on 21 June 2006

4 0℃、-10℃、-20℃层高度及云顶高度比较

从天气学原理来说,-20℃层与 0℃的高度差值通常用来表示这一层的稳定度, $\Delta H_{-20-0^{\circ}\text{C}}$ 越小,表示

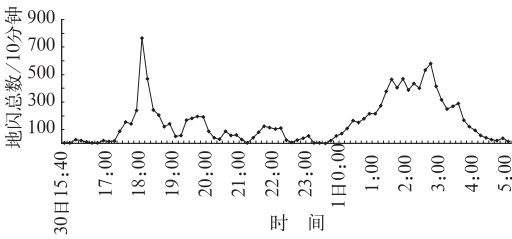


图 13 2005 年 7 月 30 日 16—7 月 1 日 05 时南
召暴雨地闪频数随时间的变化
Fig. 13 Change in lightning frequency of
rainstorm over Nanzhao from 16:00 on 30
July 2005 to 05:00 on 21 July 2006

气层越不稳定,越容易发生强对流天气^[15]。适宜的 0℃层高度是冰雹生长的重要因子,当云顶发展到-20℃层高度以上时云中便有足够多的冰晶,就会出现地闪和雷鸣^[15]。言穆弘等^[16]从理论上分析指出,雷暴电活动的强度在很大程度上依赖于云中冰相过程,且从非感应起电机机制考虑,起电逆转温度(通常为-10℃)的高度越低,云下部电荷越强。张义军等^[17]对层状云和对流云地闪活动、对流及降水特性的相关分析表明对流的强弱在一定程度上取决于 0℃层和-10℃层的高度,尤其是两者的高度差。-10℃层和 0℃层高度以及两者之差以及 0℃层高度与云顶高度之差,是表征雷暴动力和雷电活动的重要参量,-10℃层和 0℃层高度以及两者高度越低,差值越

小,对流和电活动越强。0℃层高度与云顶高度之差表征了雷暴起电过程中对冰相起作用的云厚,这个厚度越大,雷暴的电活动越强。

为了分析两类强对流天气地闪特征和 0℃、-10℃、-20℃层高度及云顶高度等层结指数特征的关系,用郑州探空资料(因南召距南阳近,2005 年 6 月 30 日南召暴雨过程用南阳探空资料)查算了 8 次过程 0℃层和-10℃、-20℃层的高度,并计算了-10℃、-20℃、对流云顶层和 0℃层的高度差(表 3)。从结果看,8 次过程,0℃层高度一般在 4~5 km,-10℃高度一般大于 6 km,-10℃层和 0℃层高度差为 1~2 km,小于 2 km,-20℃层和 0℃层高度差都在 3 km,而 0℃层高度与云顶高度之差均大于 8 km。这与张义军等的研究结论以及言穆弘等的理论一致^[16-17]。另外暴雨类 0℃、-10℃、-20℃层高度及云顶高度一般高于大风冰雹类强对流, $\Delta H_{-10\sim 0\text{℃}}$ 、 $\Delta H_{-20\sim 0\text{℃}}$ 、 $\Delta H_{\text{ct}\sim 0\text{℃}}$ 三层高度差也大于大风冰雹类。针对对流和层状云地闪活动-10℃层和 0℃层高度以及两者高度越低,差值越小,对流和电活动越强,而上述 8 例大风冰雹类和暴雨类电活动都很强,单从上述层结指数比较,还不能分辨哪一类电活动更强,但是从层结特征和地闪参数特征,却可以区分强对流天气的性质,从而为预报冰雹类和暴雨类两类天气提供依据和帮助。

表 3 0℃、-10℃、-20℃层高度及高度差(单位:km)
Table 3 The height of level 0℃、-10℃、-20℃ and their differences

过程	时间	$H_{0\text{℃}}$	$H_{-10\text{℃}}$	$H_{-20\text{℃}}$	云顶高度	$\Delta H_{-10\sim 0\text{℃}}$	$\Delta H_{-20\sim 0\text{℃}}$	$\Delta H_{\text{ct}\sim 0\text{℃}}$
2004/6/21	20	4.43	6.01	7.47	12.5	1.58	3.04	8.07
2004/6/24	20	4.65	6.32	7.86	15	1.67	3.21	10.35
2005/6/21	08	4.71	6.33	7.80	13	1.42	3.09	8.32
2006/6/25	20	4.53	6.0	7.85	15	1.47	3.32	10.47
2004/7/27	20	5.49	7.42	8.74	16.5	1.93	3.25	11.15
2005/6/30	20	5.52	7.28	8.90	16	1.76	3.38	10.48
2006/6/28	20	4.95	6.5	8.10	15	1.55	3.15	10.05
2006/7/2	08	5.35	7.00	8.75	16	1.65	3.4	10.65

5 结论与讨论

- (1) 雷雨大风冰雹类回波强度为 50~60 dBz,暴雨类回波强度一般为 40~55 dBz。
- (2) 雷雨大风冰雹正闪密集区和暴雨的负闪密集区都同 40 dBz 的强回波区有很好的对应关系。
- (3) 强暴雨和大风冰雹地闪频数和极性特征差

异显著:强暴雨地闪频数远多于大风冰雹类;大风冰雹天气以正闪为主,正闪比例在 50%以上,强暴雨过程负闪占绝对优势,负闪占总闪的比例在 94%以上。

(4) 大风冰雹类天气平均正闪强度大于负闪强度,而暴雨类的平均负闪强度并不一定大于正闪强度,负闪平均强度弱于雷雨大风冰雹平均正闪强度;强雷暴过程中最大正地闪强度达+236.0 kA;最大负地闪强度为-218.7 kA;最大正、负闪出现时间可以

出现在强雷暴过程的开始、持续、结束任何时段。

(5) 块状单体回波,冰雹云生成阶段,即块状强回波出现或强回波出现前,地闪就已经出现。随着雷暴进入持续阶段,回波强度增强,尺度增大,地闪频数突增,出现地闪密集区;对于移动过程中的块带状强回波,强回波和地闪密集区均有明显的移动,强回波移动方向的前方 20~30 km 内少量地闪的出现,能很好地预示强回波未来移动方向。冰雹云消亡阶段,回波强度减弱,高度降低,同时地闪频数锐减。

(6) 对于暴雨类天气地闪不能很好预示降水的开始,地闪频数的增加预示强暴雨进入持续阶段,地闪减弱比暴雨回波减弱有明显的提前量。

(7) 雷雨大风冰雹天气持续阶段地闪数频数突增,整个时段地闪频次具有单峰特征,暴雨整个时段地闪频次具有双峰或多峰值特点以及高频数地闪持续性特点,且强暴雨 1 小时地闪频数远大于大风冰雹强对流。

(8) 8 次过程,0 °C 层高度一般在 4~5 km, -10 °C 高度一般大于 6 km, -10 °C 层和 0 °C 层高度差为 1~2 km,小于 2 km, -20 °C 层和 0 °C 层高度差都在 3 km,而 0 °C 层高度与云顶高度之差均大于 8 km;暴雨类 0 °C、-10 °C、-20 °C 层高度及云顶高度一般高于大风冰雹类, $\Delta H_{-10\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 、 $\Delta H_{-20\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 、 $\Delta H_{\text{ct}\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 三层高度差也大于大风冰雹类。

参考文献

[1] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象, 2004, 30 (12): 17-21.

- [2] 王昂生. 大气灾害学[J]. 地球科学进展, 1991, 6 (5): 74-75.
- [3] 陈哲彰. 冰雹与雷电大风的云对地地闪特征[J]. 气象学报, 1995, 53 (3): 365-374.
- [4] Tao Shangchan, Meng Qing, Lin Binggan. Remote sensing of thunderstorm cloud flashes with MLDARS[C]. Preprints the Workshop on Mesoscale Meteorology and Heavy Rain in East Asia. Fuzhou. 1995:127-128.
- [5] 李南, 魏鸣, 姚叶青. 安徽地闪与雷达资料的相关分析以及机理初探[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 265-272.
- [6] 李建华, 郭学良, 肖稳安. 北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(2): 228-234.
- [7] Soula S, Seity Y, Feral L, et al. Cloud-to-ground lightning activity in hail-bearing storms[J]. Geophys Res, 2004, 109, D02101, doi:10.1029/2003JD0036691.
- [8] 易笑园, 宫全胜, 李培彦, 等. 华北飚线系统中地闪活动与雷达回波顶高的关系及预警指标[J]. 气象, 2009, 35 (2): 35-40.
- [9] 王飞, 张义军, 赵均壮, 等. 雷达资料在孤立单体雷电预警中的初步应用[J]. 应用气象学报, 2008, 19(2): 153-160.
- [10] 郑栋, 张义军, 吕伟涛, 等. 大气不稳定性参数与闪电活动的预报[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 198-203.
- [11] 孟青, 吕伟涛, 姚雯, 等. 地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J]. 气象, 2005, 31(9): 30-33.
- [12] 吕伟涛, 张义军, 孟青, 等. 雷电临近预警方法和系统研发[J]. 气象, 2005, 35(5): 10-17.
- [13] 蔡晓云, 宛霞, 郭虎. 北京地区对流天气闪电特征及短时预报[J]. 气象, 2003, 29(8): 16-20.
- [14] 苗爱梅, 贾利冬, 吴葵, 等. 070729 特大暴雨的地闪特征与降水相关分析[J]. 气象, 2008, 34(6): 74-80.
- [15] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 400-441.
- [16] 言穆弘, 葛正漠. 雹云中与冰相有关的起电机制[J]. 高原气象, 1985, 4(1): 46-56.
- [17] 张义军, 华贵义, 言穆弘, 等. 对流和层状云系电活动、对流及降水特性的相关分析[J]. 高原气象, 1995, 14(4): 397-404.